



橡胶厂炭黑气力输送系统设计

李 勇, 张 涛, 宋 欢

(青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要: 结合橡胶厂炭黑气力输送系统的使用情况, 对输送管道、空气流量控制元件、供料装置、分离过滤设备等主要部件进行优选; 对安全阀、减压阀、空气过滤器和 Laval 管喉径选择进行计算; 对输送安全性控制要求和特殊品种炭黑如牌号为 N772、N774 的炭黑输送管道的选择进行阐述。结果表明, 通过对气力输送系统主要设备的优选, 可有效减小能耗, 减少输送过程中出现的炭黑粒子破坏严重以及管道残余、阻塞、泄漏问题, 确保输送系统可靠、平稳运行。

关键词: 炭黑; 气力输送; 流量控制; 输送管道; 除尘设备

中图分类号: TQ330.4

文献标志码: A

文章编号: 1008-5548(2015)02-0098-05

Design of Carbon Black Pneumatic Conveying System in Rubber Factory

LI Yong, ZHANG Tao, SONG Huan

(College of Electromechanical Engineering,

Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: Based on the application of carbon black pneumatic conveying in rubber factory, the optimization of major parts such as the pipeline device, airflow-control unit, feeding device, and separation-filtration equipment etc. were conducted. The safety valve, pressure regulator, air filter and Laval nozzle were chosen and calculated. The conveying safety, conveying pipe materials for special carbon black, such as N772, N774 were specified. The results show that by optimizing main items of pneumatic conveying system, a low energy consumption can be gotten and the phenomenon of high pellet breaking, residual carbon black in pipe after conveying, break up of carbon black and leaking can be improved, which insure running reliability and smoothness of the carbon black conveying system.

Keywords: carbon black; pneumatic conveying; flow control; pipeline device; dust removal equipment

炭黑具有优良的补强作用, 广泛用于轮胎等橡胶制品。由于炭黑粒径极小且易于飞扬, 因此通常采用封闭式气力输送系统, 可有效防止炭黑外溢造成污染。气力输送系统对炭黑粒子破碎、管道残余量有严

格的要求, 原因是炭黑中细粉含量直接影响胶料的力学性能, 同时影响炭黑的流动性, 延长炭黑投料时间, 粉尘量增加还会造成实际进入密炼机炭黑量减少, 影响炼胶质量和效率。本文将讨论供料装置、空气流量控制元件、输送管道、分离过滤设备等主要部件在橡胶厂炭黑气力输送装置中的选用和设计注意事项。

1 压送罐及其控制元件的选择

1.1 压送罐的选择和布置形式

压送罐的布置形式有单发送罐形式、并联式和串联式。布置要求有足够的安装空间, 对于炭黑输送, 为了减少炭黑破碎率, 应采用大容积发送罐, 一般采用并联布置。最好将压送罐容积设计成与对应炭黑包装用太空包的体积相等, 以提高输送效率。

压送罐设计压力一般不小于 0.45 MPa, 最好设计为 0.60 MPa。压送罐属于压力容器, 必须按相关国家标准进行设计、加工、检验。压送罐顶部需要安装安全阀, 安全阀排气能力按国家标准 GB 150.1—2011《压力容器 第 1 部分: 通用要求》附录 B 的 B.8 条款中泄放装置的泄放面积计算。安全阀大小与压送罐容积、输送清扫空气流量(简称气量)、进气管尺寸有关。不同输送管径的输送系统的安全阀规格应不同。表 1 所示为安全阀泄放压力(绝对压力)为 0.643 MPa 时压送罐不同进气总管需配置的安全阀规格。建议按表中所列的参数对安全阀规格进行选择。

1.2 压缩空气流量控制装置

气力输送依靠压缩空气, 压缩空气流量的大小影响气力输送的输送能力、输送状态、输送能耗等关键指标。合理的输送气量可以减小输送管道内空气速度(简称气速), 可以缓解管道的磨损, 降低输送物料颗粒的破碎率, 减小压力损失及能耗等。在设计炭黑气力输送系统时, 对于气量的控制尤为重要, 特别是对于减少炭黑颗粒的破碎率具有重要意义。目前炭黑的输送通常采用密相输送, 这种输送方式可以达到较大的料气比, 但是对于同一系统, 一种物料在一定的输送条件下, 所能达到的最大料气比是受限的, 如果料气比过大, 会出现堵管现象。设计时需要根据供料器

收稿日期: 2014-07-06, 修回日期: 2014-07-21。

第一作者简介: 李勇(1962—), 男, 硕士, 教授, 研究方向为气力输送与橡胶机械技术。E-mail: liyong30490@163.com。

通信作者简介: 张涛(1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向为气力输送与橡胶机械技术。E-mail: 732052766@qq.com。

表 1 安全阀泄放压力为 0.643 MPa(绝对压力)时压送罐不同进气总管需配置的安全阀规格

Tab. 1 Safety valve specification for different gas-intake manifolds of blow tank with discharging pressure (absolute pressure) of 0.643 MPa

进气管规格		允许体积	气体密度/	安全泄放量/	安全阀	安全阀额定
外径/mm	壁厚度/mm	流量/(m ³ ·h ⁻¹)	(kg·m ⁻³)	(kg·h ⁻¹)	口径/mm	排量/(kg·h ⁻¹)
89	4.5	1 266~1 899	7.253	1 970	50	2 637
76	4.0	914~1 372	7.253	1 424	40	1 686
57	3.5	495~741	7.253	770	32	1 081
48	3.5	332~498	7.253	518	25	659

注:允许体积流量按管内空气速度为 10~15 m/s 计。

的能力,同时根据输送管道内的压力变化来确定压缩空气的供应量,这样才能达到在不发生堵管的情况下取得最高输送料气比的效果。

橡胶厂炭黑气力输送系统输送几何距离一般为 30~200 m,一套输送系统可以输送多品种炭黑,并且能提供多套上辅机系统炭黑用量,满足不同输送距离。根据不同的物料和不同的输送距离,采用不同的输送空气流量非常重要。目前空气流量控制方式有以下几种:1)手动减压阀与固定 Laval 管组合方式。空气流量不可自动调节,一旦调试完成,空气流量不变,对于短距离,一套上辅机系统(输送距离变化不大)比较经济。2)比例阀与固定 Laval 管组合方式。空气流量在一定范围内可控,通过自动改变比例阀设定压力来改变 Laval 管入口压力,从而调节流量。根据输送阻力和 Laval 管临界流对压力的要求,比例阀设定压力一般不能小于 0.25 MPa,一般为 0.25~0.35 MPa,太大的压力会影响铝合金内衬橡胶管的使用寿命。输送管道阻力最好小于 0.20 MPa,一般为 0.10~0.15 MPa,特别对不同目标罐输送距离相差超过 100 m 以上的系统,将不同炭黑、不同目标罐的气速控制在合理范围非常困难。3)减压阀与自动可调式 Laval 管气量自动控制系统。该输送方式是目前国际知名气力输送设备公司普遍采用的一种气量控制方式,多数属于专利产品,其气量控制范围宽,尤其适合不同的物料和不同的输送距离,气量控制稳定、准确。4)减压阀和流量调节阀组合方式。目前德国 Zeppelin 公司推出一种由 1 个减压阀、2 个流量调节阀自动控制压送罐和辅管空气流量的输送方式,辅管空气流量约占总输送气量的 50%,输送距离小于 100 m,输送管末端空气流速小于 7.5 m/s。输送主辅管压力采用一个减压阀控制,需要使用大规格减压阀,比如输送管直径为 225 mm,气源总管内径为 100 mm,减压阀口径为 100 mm。

不管采用何种控制方式,减压阀、比例阀、空气过滤器一般是必不可少的,它们的选择对气力输送系统性能的影响非常重要。

1.2.1 减压阀、比例阀的选择

减压阀的作用是控制气压的变化,以达到系统输

送所需要的压力。通过正确地选择减压阀,可以在较小的气源压力下,保证整个系统所需的气体流量,避免气源压力减小发生管道堵塞的情况,确保在管道清扫时不会出现残余物料,同时也减少了能源的消耗(气源压力从 0.7 MPa 减小为 0.6 MPa,可以节能 12% 左右)。多数炭黑气力输送系统要求气源压力大于 0.6 MPa,储气罐压力不小于 0.55 MPa。根据经验,当储气罐压力小于 0.55 MPa 时,发生管道堵塞的概率明显增大。原因就是减压阀、过滤器、空气管路配置存在问题,气源系统提供不了输送过程所需要的气量,出现了管道堵塞、清扫不干净的现象。

减压阀的压力特性曲线如图 1^[1]所示。设 SMC(广州)气动元件有限公司的 VEX193-20 型比例阀的泄流口为 R,进口 P 的压力为 1.0 MPa,出口 A 的压力为 0.1~0.9 MPa,对应的空气流量特性曲线如图 2^[2]所示。可以依据减压阀压力、流量特性和使用工况来选择减压阀的型号。目前大规格空气减压阀分为直动式和先导式。直动式减压阀又分为非平衡和平衡式 2 种,其中非平衡式减压阀结构简单,价格低廉,但是其压力特性不好,一般不能用于气力输送系统。由图 1 可知,平衡式减压阀压力特性非常好,在不同的输入压力时,出口压力非常平稳。

必须注意的是,相同进、出口尺寸的不同品牌减压阀的流量特性不同,比如口径为 50 mm 的 SMC(广州)气动元件有限公司的 AR925 型减压阀不仅与 VEX193-20 型比例阀最大允许流量相差比较大,而且与英国诺

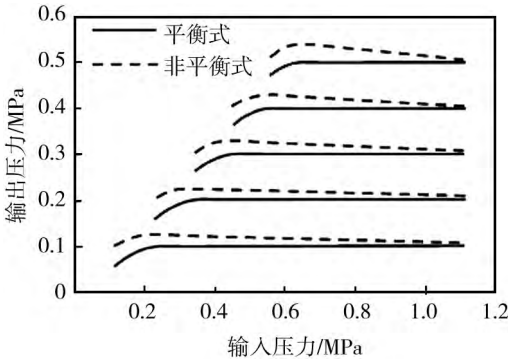
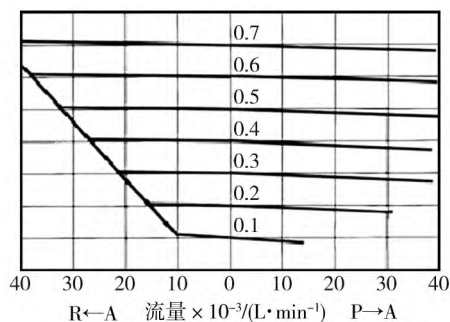


图 1 减压阀的压力特性曲线

Fig. 1 Pressure characteristic curves of pressure-relief valve

· 粉体加工与处理 ·



图中右半部分是进口 P 到出口 A 的空气流量,左半部分为出口 A 到泄流口 R 的空气流量。

图 2 VEX193-20 型比例阀的空气流量特性曲线

Fig. 2 Airflow characteristic curve of VEX193-20 electro-pneumatic regulator

冠品牌的相同口径减压阀流量也不同,因此需要根据输送空气流量和清扫流量根据特性曲线选择。

减压阀入口压力一定时,流量会随着设定出口压力的变化而变化。由图 2 可知,减压阀设定压力越大,流量越大。比如 VEX193-20 型比例阀,口径为 50 mm,当设定出口压力为 0.2 MPa 时,最大体积流量为 30 000 L/min,当压力设定增大为 0.3 MPa 时,最大体积流量达到 38 000 L/min,即质量流量为 0.76 kg/s。

减压阀在不同压力时的质量流量可用公式^[3]进行计算。当 $p_1/p_0 > 0.528$ 时,

$$q_m = \rho_0 A \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{p_1}{\rho_0} \left[\left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \quad (1)$$

当 $p_1/p_0 \leq 0.528$ 时,

$$q_m = A \sqrt{k p_0 \rho_0} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{2k-2}}, \quad (2)$$

式中: q_m 为质量流量, kg/s; ρ_0 为计算压力下的流体密度即进口密度, kg/m³; p_0 为减压阀进口压力, Pa; p_1 为减压阀出口压力, Pa; A 为活门实际流通面积, m²; k 为气体绝热指数, 无量纲, 气体为空气时取为 1.4。当 $p_1/p_0 = 0.528$ 时, 质量流量达到最大。

由图 2 可知, 当 $p_0 = 1.0$ MPa, $p_1 = 0.3$ MPa 时, 减压阀极限质量流量为 0.76 kg/s。当 p_0 为 1.0 MPa 时, ρ_0 为 13.2 kg/m³ 时, 根据式(2)计算如下:

$$q_m = A \sqrt{1.4 \times 10^6 \times 13.2} \times \left(\frac{2}{1.4+1} \right)^{\frac{1.4+1}{2 \times 1.4-2}} = 2\,487.8A = 0.76 \text{ kg/s}$$

求得活门实际流通面积 A 为 $3.055 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ 。一般气力输送系统气源压力不可能达到 1.0 MPa, 在输送过程中, 总管道上气源压力一般都有不同程度的减小, 为了保证输送可靠, 按减压阀进口最小压力为 0.45 MPa, ρ_0 为 6.6 kg/m³, 出口压力为 0.3 MPa 设计。根据式(1)计算可得:

$$q_m = 6.6 \times 3.055 \times 10^{-4} \times$$

$$\sqrt{\frac{2 \times 1.4}{1.4-1} \times \frac{3 \times 10^5}{6.6} \left[\left(\frac{3 \times 10^5}{4.5 \times 10^5} \right)^{\frac{2}{1.4}} - \left(\frac{3 \times 10^5}{4.5 \times 10^5} \right)^{\frac{1.4+1}{1.4}} \right]} = 0.28 \text{ kg/s}$$

如果主管和辅管分别采用一个该规格比例阀, 输送管道内径为 250 mm, 控制末端气速为 12 m/s, 则输送气体体积流量为 2 120 m³/h。对于该输送系统, 若采用 2 个比例阀, 可提供气体质量流量为 0.56 kg/s, 即体积流量为 1 680 m³/h, 无法满足要求。如果输送距离大, 末端气速大于 12 m/s, 或者调试过程中减小比例阀出口压力, 气源压力在输送过程中小于 0.45 MPa (有些用户在输送过程中气源最小压力达到 0.3 MPa) 等, 输送气量更无法满足。建议对于该输送系统, 采用口径为 65 mm 的减压阀或比例阀, 或者在清扫气路增加 1 个减压阀。

1.2.2 Laval 管喉径的选择

在气量控制中, Laval 管起核心作用, 而可调式 Laval 管对整个气力输送系统的控制有至关重要的影响。图 3 为可调式 Laval 管结构图。当 Laval 管的进口压力稳定时, 可以通过改变调节杆的位移调节流量来实现气量控制。控制调节杆和 Laval 管的喉径部位, 形成了可调 Laval 管的环状流通区域, 在管道的最小截面处达到音速。由流体力学连续性方程可知, 通过喉径处的流量与任何截面处的相等, 因此管道内的流量不再发生变化, 实现了 Laval 管流量控制。对于炭黑气力输送系统, 选用可调式 Laval 管时, 其喉径应根据所输送炭黑的牌号来确定, 一般根据所需气量较大的炭黑来设计, 如牌号为 N660 炭黑和大颗粒白炭黑。

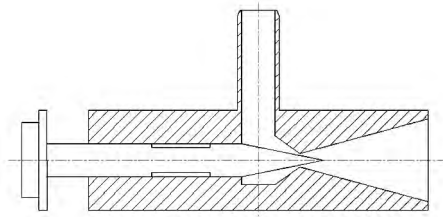


图 3 可调式 Laval 管结构图

Fig. 3 Structure of adjustable Laval nozzle

Laval 管喉径的计算公式^[4]如下:

$$d_t = 5.62 \left(\frac{\dot{m}_a T_2^{0.5}}{p_2} \right)^{0.5}, \quad (3)$$

式中: d_t 为 Laval 管喉径, m; T_2 为 Laval 管入口压缩空气温度, K, 取为 25 °C, 即 298 K; p_2 为 Laval 管入口压力, MPa, 即减压阀出口设定压力, 忽略减压阀与 Laval 管之间空气管路的压力损失, p_2 近似等于减压阀出口压力 p_1 ; $\dot{m}_a$ 为压缩空气质量流量, kg/s, 满足

$\dot{m}_a=1.2Q/3\ 600,$

其中空气密度按 1.2 kg/m³ 计算(式中已代入), Q 为压缩空气在标准状态下的体积流量,m³/h。

某橡胶厂炭黑气力输送系统要求如下:主管压力为 0.25 MPa,气体体积流量为 165 m³/h;辅管压力为 0.3 MPa,气体体积流量为 165 m³/h;清扫管压力为 0.25 MPa,气体体积流量为 330 m³/h。

输送主管:

$\dot{m}_a=165\text{ m}^3/\text{h}=0.055\text{ kg/s},p_z=(0.25+0.1)\text{ MPa}=350\ 000\text{ Pa},$

$d_i=5.62\left(\frac{0.055\times298^{0.5}}{350\ 000}\right)^{0.5}=0.009\ 26\text{ m}=9.26\text{ mm}。$

辅管:

$d_i=165\text{ m}^3/\text{h}=0.055\text{ kg/s},p_z=(0.3+0.1)\text{ MPa}=400\ 000\text{ Pa},$

$d_i=5.62\left(\frac{0.055\times298^{0.5}}{400\ 000}\right)^{0.5}=0.008\ 66\text{ m}=8.66\text{ mm}。$

清扫 Laval 管:

$\dot{m}_a=330\text{ m}^3/\text{h}=0.11\text{ kg/s},p_z=(0.25+0.1)\text{ MPa}=350\ 000\text{ Pa},$

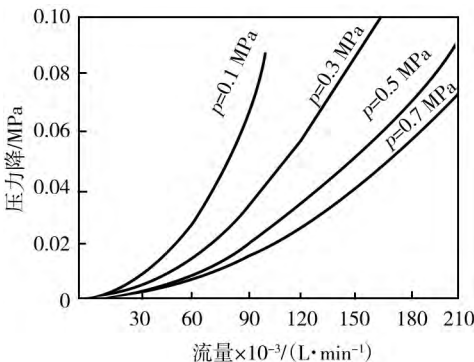
$d_i=5.62\left(\frac{0.11\times298^{0.5}}{400\ 000}\right)^{0.5}=0.013\ 1\text{ m}=13.1\text{ mm}。$

输送总气体体积流量为 165+165=330 m³/h,清扫总气体体积流量为 330+330=660 m³/h。该系统辅管气量约占总输送气量的 50%。如果输送管道末端内径为 125 mm,末端气速为 7.47 m/s,清扫气速为 14.9 m/s。

1.2.3 压缩空气总管空气过滤器

以某橡胶厂炭黑气力输送管道为例,输送管道为变径管,输送开始端管内径为 125 mm,结束端管内径为 150 mm,控制末端输送气速为 10 m/s,清扫气速为 15 m/s,则输送、清扫气体体积流量分别为 10.6、15.9 m³/min。

QSL 系列空气过滤器流量特性曲线如图 4^[5]所示。由图可知,QSL-50 型过滤器在进口压力为 0.5 MPa,过滤器压差为 0.05 MPa 的条件下,体积流量仅为 15 m³/min,无法满足 DN175 以上输送管道气量要求。对于内径为



p 为空气过滤器进口压力,MPa。

图 4 QSL 系列空气过滤器流量特性曲线

Fig.4 Discharge characteristic curve of QSL air filter

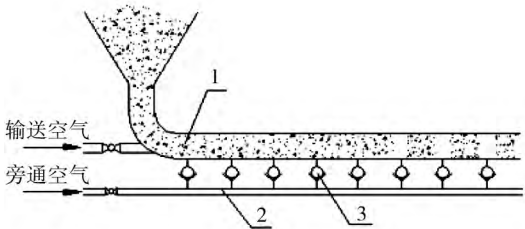
175 mm 的输送管道,虽然能满足输送管道气量要求,但加上清扫气量,QSL-50 型过滤器无法满足要求,建议选择 2 个过滤器并联布置,或采用大规格过滤器。

2 输送管道

炭黑气力输送管道一般采用外旁通管道方式进行输送,简称双管输送。输送管道有单辅管和双辅管 2 种输送形式。单辅管上气量助推阀采用串联布置,而双辅管助推阀采用并联布置,助推阀并联布置更有利于管道疏通,原因是它可以根据输送管上的压力传感器判断堵塞位置,单独在堵塞位置补气进行疏通,而单辅管在发生堵塞时需要在堵塞位置与压送罐之间全部补气,对于堵塞严重的情况可能会压实物料,使物料无法疏通。输送主管有铝合金内衬橡胶管,优点是不存在炭黑粘附,管道残余量小,但是橡胶内衬老化,因此容易破裂,而且价格较高。炭黑粒子的结构吸油值和比表面积对炭黑与设备和管道表面粘附影响很大,数值越小,粘附性越强。例如炭黑牌号为 N772、N774,采用金属管道很容易出现管道粘附、堵塞。

旁通管外置式输送管道的结构如图 5 所示。当炭黑输送管道有堵塞的迹象时,旁通进气管中的压缩空气经过旁通进气管进入输送管道,炭黑被气流切割成短料栓,从而实现正常输送。被输送炭黑的物性和输送距离与旁通管上 2 个进气管之间的距离有关,在旁通进气管中设置过滤喷嘴和单向阀,以防止旁通管中气流停止时炭黑回流到管中导致的旁通管失效。

根据对德国 Zeppelin 公司炭黑气力输送系统的分析,输送管道主管内径为 225 mm,辅管内径为 100 mm,辅管与主管横截面积比为 5:1,输送主管和辅管在输送过程中进入的气量分别占总输送气量(主管气量和辅管气量之和)的 50%。美国 Cyclonaire 公司在辽宁省某公司的输送系统中,输送管内径为 150 mm,辅管内径为 50 mm,辅管与主管横截面积比为 9:1。辅管气量最大可达总输送气量的 70%,在输送过程中压送罐顶部没有补气。日本安满能公司在广东省某公司的输送



1—输送主管;2—旁通管;3—空气助推器。

图 5 旁通管外置式输送管道的结构

Fig.5 Structure of bypass outboard pipeline

· 粉体加工与处理 ·

系统中,输送管内径为 250 mm,辅管内径为 80 mm,两者横截面积比为 9.8:1。以上输送系统采用的输送管道、辅管横截面积比与管道内空气速度、面积有关,空气速度又反映输送状态。以上 3 种情况与国内一些研究关于主辅管直径比为 4:1(横截面积比为 16:1)的结果有很大差异,原因可能是这些研究主要针对粉煤灰输送。由于粉煤灰的流态化和存气性能非常好,因此辅管补气量小。对于炭黑输送,考虑到气量控制严格,末端气速必须控制在合理范围内,辅管在输送过程中的作用非常大,主要通过辅管助推使炭黑以短的栓流向前输送,不允许出现长的料栓,因此要求压送罐开泵压力小于 0.3 MPa,输送过程中压送罐顶部气量和下料速度均不应太大。

根据总输送和清扫气量,按辅管气量约占总气量的 50%设计辅管直径,辅管压力比主管压力大 0.05~0.1 MPa,控制辅管内气速小于 10~15 m/s,在清扫时最大允许达到 20 m/s。建议炭黑输送助推距离为 0.5~1.5 m,采用接丝尺寸为 6.35 mm 过滤喷嘴和单向阀组成的助推装置,输送管内径小于等于 125 mm 时,助推距离可以确定为 1.0 m,内径为 150 mm 的输送管助推距离为 0.75 m,内径为 175 mm 的输送管助推距离最好为 0.5 m。输送管内径越大,需要的辅管补气量越大。减小助推距离可以增大补气量,也可以增大助推阀规格,比如采用接丝尺寸为 0.95 mm 的喷嘴和单向阀,或者采用其他大流量防污单向阀,可以适当增加助推距离,但是最大不应超过 1.5 m。

随着高分子科学领域的不断发展,输送管道的材料也有了新的突破。现在国内外多家企业在生产输送管道时,应用了新型高分子材料——超高分子聚乙烯。超高分子聚乙烯内部分子的特殊排列使其具有独特的性能,摩擦系数接近金属材料的 1/6,可以防止物料粘附,尤其是针对炭黑的输送,能很大程度地减少颗粒的破碎率和磨碎率,而且输送阻力小。

3 目标罐和除尘设备

炭黑气力输送分离过滤设备主要采用脉冲布袋除尘器,选用高质量的脉冲阀和脉冲控制装置非常重要。对于户外安装还需要考虑防冻脉冲阀。一旦除尘器清灰装置失灵,输送压力一般为 0.25~0.35 MPa,进入目标罐内的气体无法排出,会导致除尘器箱体甚至目标罐体破裂,造成严重泄漏。

一般除尘器箱体设计压力为 ± 15 kPa,对于有防爆要求的除尘器箱体压力要达到 20 kPa,防爆膜压力等级为 7.5~10 kPa,目标罐设计压力为大于 15 kPa,目标罐不可能也没有必要按照压力容器设计。关键是

选择高质量料位计和进行可靠的压力保护。在罐顶安装压力开关或压力传感器,除尘器采用差压报警,一般输送过程中目标罐内压力小于 5 kPa,压力(包括除尘器压差)报警压力设计为 6.0~8.0 kPa。机械式正压阀开启压力设计为 8.0 kPa,正压阀采用不同目标罐相互连通的方式,这样一旦阀门开启也不会造成污染。正压阀规格不得小于输送管直径。当输送、清扫过程中发生压力报警,并且时间超过 2 s 时,立即停止输送、清扫并进行持续报警,压力恢复正常后允许启动。如果再次出现报警,锁定该目标罐的输送、清扫动作,直至维修人员检查、维修、确认后才能操作。对于气力槽车输送,必须设计现场控制柜,随时观察料位、压力情况,方便紧急停车。

根据炭黑的物性特点,炭黑气力输送系统中袋式除尘器的滤袋采用防水、防油、防静电处理的面密度为 500 g/m² 的涤纶针刺毡,表面最好进行热轧覆膜。处理风量根据炭黑的特性、输送压力、输送速度、输送管道几何参数等计算确定,一般按清扫时的最大气量选择,管道清扫气速一般选为 15~20 m/s。炭黑脉冲布袋除尘器过滤风速在任何时候都不能超过 1 m/min,否则很难保证排放质量浓度达到国家标准 12 mg/m³ 的要求。对于维修能力差的用户,建议采用二级除尘,这样罐顶除尘器滤袋一旦破损,可以防止炭黑外泄,造成严重环境污染。原因是在输送过程中即使发现除尘器泄漏停止输送,罐内残余压力作用也会长时间发送泄漏,导致几百千克甚至几吨炭黑外泄。

4 结语

压送罐、输送管道、空气流量控制装置和目标罐及除尘设备对气力输送的能耗和使用效果有至关重要的影响。针对密炼机的炼胶(塑)特点,只要对炭黑气力输送系统进行精确的设计和选型,就可以满足高输送能力、大料气比、低破碎率、长距离输送、无堵塞、无泄露、自动化智能化等工艺要求。

参考文献(References):

- [1] 张希望,王海萍.气动控制元件在气力输送中的应用[J].硫磷设计与粉体工程,2014(1):19-23.
- [2] SMC(中国)有限公司.综合样本[EB/OL].(2014-06-25)[2014-07-01].<http://www.smc.com.cn/cn/soft.aspx?type=soft>.
- [3] 向平,韩宗真,郑卉凌.大流量高压空气减压阀选型与使用[J].液压与气动,2011(6):33-35.
- [4] MILLS D. Pneumatic Conveying Design Guide [M]. 2nd ed. Great Britain: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.
- [5] 无锡德田工业自动化科技有限公司. QSL-50 空气过滤器[EB/OL].(2013-08-14)[2014-07-01].<http://www.skxox.com/web/product/view/skexslxd.html>.